

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja

2.1.1 Definisi Baja

Baja merupakan salah satu material yang sangat penting dalam dunia konstruksi saat ini. Baja memiliki kekuatan yang sangat tinggi sehingga dapat mengurangi ukuran struktur. Baja juga memiliki sifat elastis dan daktilitas yang cukup tinggi sehingga dapat menerima tegangan tarik yang cukup besar. Kemudahan pengerjaan konstruksinya dan kemudahan dalam hal penyambungan antar elemen material satu dengan material lainnya, menggunakan alat sambung las atau baut menjadi pertimbangan tersendiri baja sering digunakan dalam pekerjaan konstruksi. Pembuatan baja dalam proses gilas panas mengakibatkan baja mudah dibentuk menjadi penampang-penampang yang diinginkan, juga menjadi salah satu keunggulan material baja menurut yang di jelaskan oleh (Setiawan. 2008).

Baja adalah material yang paling banyak digunakan dalam konstruksi mesin, karena memiliki sifat ulet mudah dibentuk kuat maupun mampu keras. Material baja juga memiliki jumlah kandungan karbon dalam struktur baja dapat menentukan sifat mekanis dan unjuk kerja (*performance*) nya. (Hari dan Daryanto dalam Nanulaitta, Lillipaly, 2012).

Kandungan karbon didalam struktur baja akan berpengaruh terhadap sifat mampu keras. Sifat ini dibutuhkan untuk komponen mesin yang saling bergesekan atau karena fungsinya harus mempunyai kekerasan tertentu. Selanjutnya kekerasan pada komponen mesin yang terbuat dari baja, dapat diperoleh dari proses perlakuan panas atau perlakuan permukaan. Proses peningkatan kekerasan menggunakan panas merupakan cara yang banyak dilakukan untuk baja karbon medium dan tinggi. Namun demikian tidak semua jenis baja bisa dikeraskan

secara langsung dengan cara ini. (Hari dan Daryanto dalam Nanulaitta, Lillipaly, 2012).

Baja juga merupakan logam paduan, logam besi sebagai unsur dasar dan dengan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan unsur karbon dalam baja berkisar antara 0,2%C sampai 2,1%C berat sesuai dengan *grade*-nya. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur penguat dengan mencegah dislokasi bergeser pada kisi kristal (*crystal lattice*) atom besi. Baja karbon ini dikenal sebagai baja hitam karena berwarna hitam, banyak digunakan untuk alat pertanian seperti sabit dan cangkul. Unsur paduan lain yang biasanya terdapat dalam baja selain karbon seperti titanium, krom (*chromium*), nikel, vanadium, cobalt, dan tungsten (wolfram). Dengan memvariasikan kandungan karbon pada unsur paduan lainnya, berbagai jenis kualitas baja dapat didapatkan. Penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan kekuatan tariknya (*tensile strength*), namun disisi lain dapat membuatnya menjadi getas (*brittle*) serta menurunkan keuletannya (*ductility*). (Anonimus, 2019).

2.1.2 Baja Karbon

Baja karbon merupakan baja yang sering sekali digunakan dalam perkembangan pembangunan saat ini. Hal ini dikarenakan kemudahan dalam pencarian bahan baku dan pembentukan penampang-penampang baja karbon rendah tersebut. Baja model ini pun dapat bertahan dalam jangka waktu yang amat relatif lama. Namun diperlukan perhatian khusus agar dapat bertahan sesuai dengan spesifikasi baja tersebut. Hal ini berguna agar terlaksananya proses manufaktur dalam industri-industri sesuai yang telah direncanakan sebelumnya.

Ada tiga kelompok baja jika di tinjau dari jumlah kandungan karbon yang terdapat didalam struktur baja, yaitu:

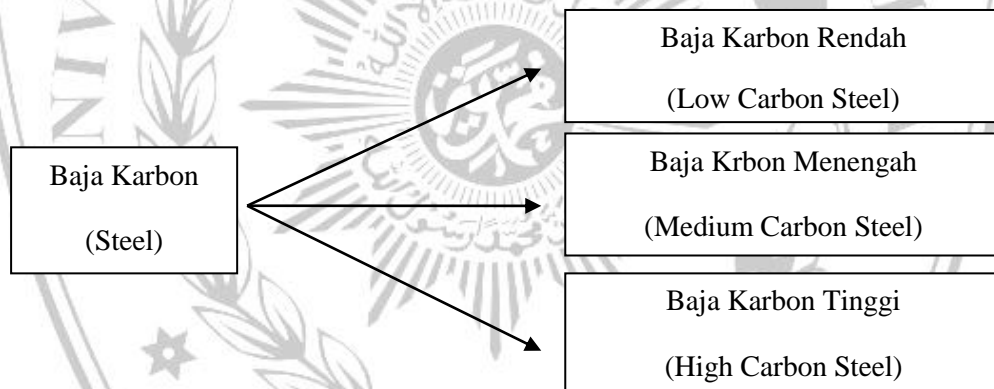
1. Baja karbon rendah adalah baja dengan kandungan karbon 0,04% - 0,30%. Baja karbon rendah (*low carbon steel*) mengandung karbon dalam campuran baja karbon kurang dari 0,3%. Baja ini bukan baja yang keras karena kandungan karbonnya yang rendah kurang dari 0,3%C. Baja karbon rendah

tidak dapat dikeraskan karena kandungan karbonnya tidak cukup untuk membentuk struktur martensit. (Amanto dalam Nanulaitta, Lillipaly, 2012).

2. Baja karbon menengah adalah baja dengan kandungan karbon 0,31% - 0.70%. Baja karbon sedang mengandung karbon 0,3%C - 0,7%C (*medium carbon steel*) dan dengan kandungan karbonnya memungkinkan baja ini untuk dikeraskan sebagian dengan perlakuan panas (*heat treatment*) yang sesuai. (Amanto dalam Nanulaitta, Lillipaly, 2012).

3. Baja karbon tinggi adalah baja dengan kandungan karbon 0,70% - 1,70%. Baja karbon tinggi (*high carbon steel*) mengandung 0,7%C - 1,7%C dan memiliki kekerasan yang tinggi namun keuletannya lebih rendah, dikarenakan terdapat banyak unsur martensit sehingga membuat aja menjadi getas. (Amanto dalam Nanulaitta, Lillipaly, 2012).

➤ Klasifikasi baja karbon yang di jelaskan di atas dapat dilihat pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Klasifikasi Baja Karbon

Dalam dunia industri saat ini baja karbon terdapat beberapa jenis, menurut komposisi kimianya dapat klarifikasi menjadi tiga sesuai dengan kegunaan baja, yaitu :

1. Baja karbon rendah dengan kadar karbon 0,05%C – 0,30%C, yang sifatnya mudah ditempa dan mudah untuk dikerjakan pada proses permesinan. Penggunaannya untuk komposisi 0,05%C – 0,20%C biasanya untuk mobil, bangunan, pipa, rantai, paku keeling, paku, dan sekrup dan komposisi karbon

- 0,20%C – 0,30%C digunakan untuk roda gigi, poros, baut, jembatan, bangunan.
2. Baja karbon menengah dengan kadar kandungan karbon 0,30%C – 0,60%C, kekuatannya lebih tinggi dari pada baja karbon rendah. Sifat sulitnya untuk dilas, dipotong. Penggunaan untuk kadar kandungan karbon 0,30%C – 0,40%C untuk batang penghubung dalam industri otomotif. Untuk kadar kandungan karbon 0,40%C – 0,50%C, digunakan untuk rangka mobil, *crankshaft*, rail, ketel dan obeng. Untuk kadar kandungan karbon 0,50%C – 0,60%C, digunakan untuk palu dan eretan pada mesin.
 3. Baja karbon tinggi dengan kandungan karbon 0,60%C – 1,50%C, kegunaanya yaitu untuk pembuatan obeng, palu tempa, meja pisau, rahang ragum, mata bor, alat potong, dan mata gergaji, baja ini untuk pembuatan baja perkakas. Sifatnya sulit untuk dibengkokkan, dilas dan dipotong. (Arifin dkk, 2008).

Sedangkan kadar zat arangnya, baja dibedakan menjadi tiga kelompok utama baja bukan paduan yaitu baja dengan kandungan karbon kurang dari 0,8%C (baja *hypoeutectoid*) himpunan ferrit dan perlit (bawah perlitis) baja dengan kandungan karbon 0,8%C (baja *eutectoid* atau perlitis), terdiri atas perlit murni, dan baja dengan kandungan karbon lebih dari 0,8%C (baja *hypereutectoid*), himpunan perlit dan sementit (atas perlitis) menurut penjelasan dari (Mulyadi, 2010).

2.2 Bending

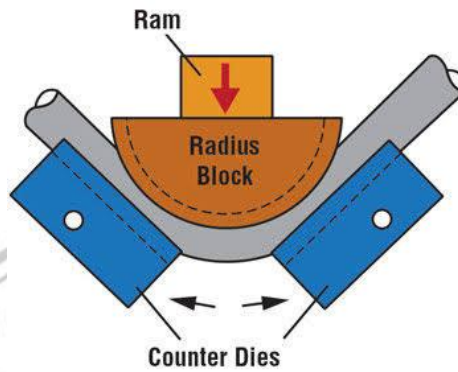
2.2.1 Definisi Bending

Perlakuan *Bending* merupakan pengerjaan dengan cara memberi tekanan pada bagian tertentu sehingga terjadi deformasi plastis pada bagian yang diberi tekanan. Sedangkan proses *bending* merupakan proses penekukan atau pembengkokan menggunakan alat *bending* manual maupun menggunakan mesin *bending*. Adapun proses-proses *bendingan* yaitu :

1. Bending Ram

Biasanya digunakan untuk membuat lengkungan besar untuk logam yang mudah bengkok. Dalam metode ini plat atau pipa ditekan pada 2 poin external

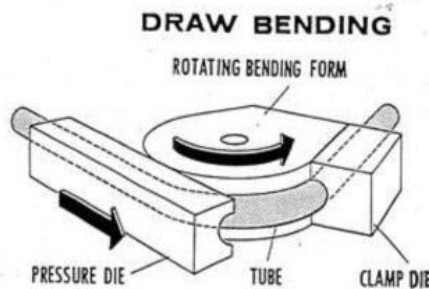
dan ram mendorong besi pada poros tengah untuk menekuknya atau membengkokkannya. Cara ini cenderung membentuk menjadi bentuk oval baik di bagian dalam maupun diluar lengkungan. Gambar *bending ram* dapat dilihat pada gambar 2.2



Gambar 2.2 Bending Ram Set Up

2. *Bending Rotary Draw*

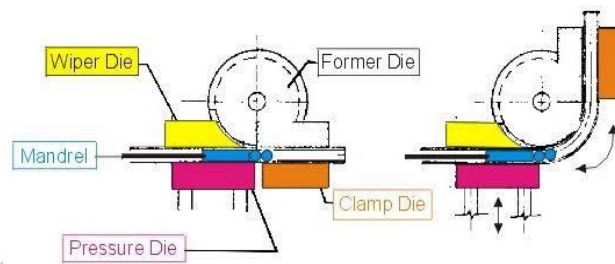
Biasanya digunakan untuk membengkokkan besi sebagai pegangan tangan, yang lebih keras. *Bending rotary draw* imbang menggunakan 2 cetakan: cetakan *bending* stasioner dan cetakan *bending* dengan diameter tetap untuk membentuk lengkungan. Cara ini digunakan apabila plat atau pipa yang akan di *bending* perlu memiliki hasil akhir yang baik dengan diameter konstan di seluruh panjang. Gambar *Bending Rotary Draw* dapat dilihat pada gambar 2.3



Gambar 2.3 Draw Rotary Bending

3. Bending Mandrel

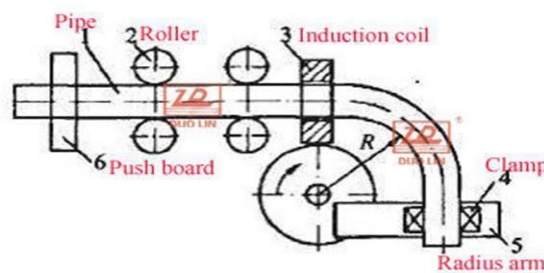
Selain cetakan yang digunakan dalam *rotary bending*, yakni dengan cara menggunakan *support* fleksibel yang ikut bengkok dengan logam untuk memastikan *interior* logam tidak cacat. Gambar *Bending Mandrel* dapat dilihat pada gambar 2.4



Gambar 2.4 Mandrel Bending

4. Bending Induksi Panas

Proses ini menggunakan panas dari kumparan listrik untuk memanaskan area yang akan di bengkokkan, kemudian logam dibengkokkan dengan cetakan mirip dengan cetakan *rotary draw*. Logam segera didinginkan dengan air setelah pembengkokkan. Cara ini menghasilkan lengkungan yang lebih kuat dari pada *rotary draw*. Gambar *Bending Induksi Panas* dapat dilihat pada gambar 2.5

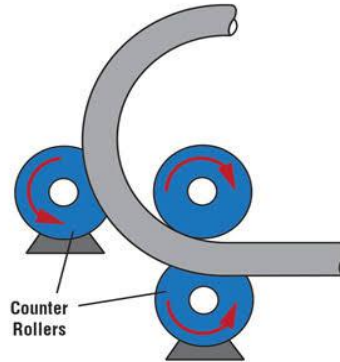


Gambar 2.5 Bending Induksi Panas

5. Bending Roll

Digunakan ketika diperlukan lengkungan besar pada logam. Banyak digunakan untuk pekerjaan konstruksi. *Bending roll* menggunakan 3 roller yang

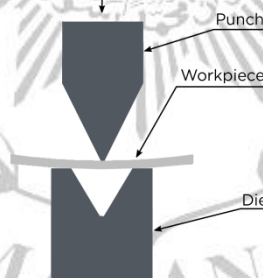
disusun membentuk segi tiga pada satu poros untuk mendorong dan membengkokkan logam. Gambar *Bending Roll* dapat dilihat pada gambar 2.6



Gambar 2.6 Bending Roller

6. Sheet Metal Forming V Bending

Stamping Part adalah hasil dari suatu proses produksi yang dinamakan *Sheet Metal Forming*, dimana untuk menghasilkan *Pressed Part*. Lempengan atau lembaran plat baja yang ingin dirubah permukaan atau dibengkokkan dapat menggunakan metode ini. Gambar Sheet Metal Forming V Bending dapat dilihat pada gambar 2.7

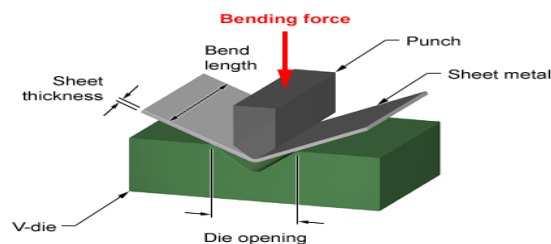


Gambar 2.7 Sheet Metal V Bending

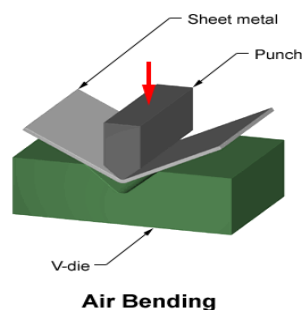
2.2.2 Sheet Metal Forming Bending

Sheet Metal Forming merupakan salah satu bagian dari proses produksi dimana dalam proses pembuatannya menggunakan *Sheet Metal* atau lembaran plat baja sebagai material bahannya, *pressing dies* sebagai cetaknya serta menggunakan mesin *Stamping* atau mesin *Press* sebagai mesin pemrosesannya.

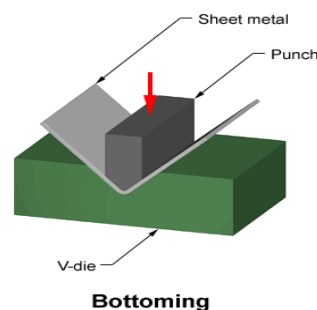
Adapun hasil yang akan didapat oleh proses pengerjaan ini adalah *sheet metal part* atau biasa dikenal yaitu *pressed part*. Dalam industri otomotif untuk kendaraan roda dua maupun roda empat bahkan pada industri besar seperti industri kapal dan pesawat bahan *pressed part* merupakan salah satu komponen penting dan penggunaannya cukup besar dan penting karena fungsinya belum bisa digantikan oleh komponen lainnya. Spesifikasi *pressed part* belum bisa digantikan oleh bahan material lainnya seperti *non-metal* seperti kayu atau plastic misalnya dalam kekuatan yang cukup dalam menahan beban yang besar seperti beban kejut pada komponen di bagian luar dan badan kendaraan. Hal ini tentunya berkaitan dengan *Pressing Dies*, sebab *pressing dies* adalah cetakan yang digunakan untuk membentuk *pressed part*. Bentuk ini dihasilkan karena adanya pengaruh oleh *Dies*-nya. (Arnold dan Jerry dalam Rahmanto, 2013). Gambar Sheet Metal Forming *Bending* dapat dilihat pada gambar 2.8



(a)



(b)



(c)

Gambar 2.8 (a) *Bending Force*, (b) *Air Bending*, (c) *Bottoming*

2.3 Air Laut

2.3.1 Definisi Air Laut

Air laut adalah zat pelarut yang bersifat sangat berdaya guna, yang mampu melarutkan zat-zat lain dalam jumlah yang lebih besar dari pada zat cair lain. Diperkirakan hampir sebesar 48.000 triliun ton garam yang larut dalam air laut. Garam-garaman tersebut terdiri dari sodium chlorida 38.000 triliun ton, sulphates 3.000 triliun ton, magnesium 1.600 triliun ton, potassium 480 triliun ton dan bromide 83 triliun ton. Clorida merupakan zat yang paling banyak terkandung dalam air laut. Sedangkan zat sodium (NaCl) atau garam dapur merupakan zat clorida yang presentasinya paling besar. (Anonimus, 2019).

Apabila dipresentasikan adalah sebagai berikut:

Menurut Clarke		Menurut Lyman dan Fleming	
Kandungan	Dalam persen (%)	Kandungan	Dalam persen (%)
CaCl ₃	0,34 %	NaCl	68,1 %
NaCl	77,70 %	MgCl	14,4 %
MgCl ₂	10,88 %	CaCl	3,2 %
MgSO ₄	4,74 %	KCl	1,9 %
CaSO ₄	3,60 %	NaCO ₄	11,4 %
K ₂ SO ₄	2,64 %	NaHCO ₄	0,6 %
MgBr	0,22 %	K Br	0,3 %

2.3.2 Salinitas Air Laut

Seluruh barang padat yang terdapat pada air laut disebut garam-garaman. Konsentrasi rata-rata seluruh garam-garaman yang terdapat dalam air laut adalah salinitas. Salinitas adalah bilangan yang menunjukkan berapa gram garam-garaman yang terlarut dalam air laut tiap-tiap kilogram (gr/kg) biasanya dinyatakan dalam persen (%) atau permil (‰). Konsentrasi rata-rata seluruh garam yang terdapat dalam air laut sebesar 3 % - 4 % dari berat seluruhnya (berat air). (Anonimus, 2019).

Pada laut-laut yang berhubungan biasanya perbedaan salinitas kecil, namun perbedaan tersebut akan nampak pada laut-laut tertentu yang terpisah dari laut lepas. Berikut ini faktor-faktor yang mempengaruhi besar kecilnya salinitas air laut yaitu:

1. Penguapan, penguapan makin besar maka salinitas air laut akan semakin tinggi, kebalikannya penguapan makin kecil maka salinitas akan semakin rendah.
2. Curah hujan, makin banyak curah hujan maka salinitas akan semakin rendah, kebalikannya makin kecil curah hujan maka salinitas semakin tinggi.
3. Air sungai yang bermuara ke laut, makin banyak air sungai yang bermuara ke laut maka salinitas air laut tersebut semakin rendah.
4. Letak dan ukuran air laut, laut-laut yang tidak berhubungan dengan laut lepas dan terdapat di daerah arid maka salinitasnya tinggi.
5. Arus laut, laut-laut yang dipengaruhi air panas maka salinitasnya akan naik dan kebalikannya laut-laut yang dipengaruhi arus dingin maka salinitasnya akan turun (rendah).
6. Angin, kelembaban udara dan atasnya, ini berhubungan dengan penguapan dan penguapan berhubungan dengan besar kecilnya salinitas air laut.

Hipotesis tentang asinnya air laut, ada dua hipotesis yaitu:

1. Garam-garaman yang sekarang ada pada air laut, telah terjadi sejak permulaan terbentuknya lautan. Salinitas dahulu hampir sama dengan salinitas sekarang. Itu terbukti dari fosil organisme marine yang menunjukkan salinitas air laut tidak banyak berubah setelah mengalami waktu geologi yang sama.
2. Salinitas air laut bertambah secara berangsur-angsur, yaitu hasil pencucian dari batuan-batuan di kulit bumi dan dari pengangkutan mineral-mineral yang dibawa ke laut oleh sungai atau oleh air hujan yang mengalir di atas permukaan bumi. Jadi menurut hipotesis ini air laut yang mula-mula itu tawar.

2.4 Korosi

Korosi logam merupakan masalah besar dalam dunia industri, termasuk dalam industri kelautan. Kata korosi berasal dari bahasa latin yaitu, “*Corrodere*” yang berarti perusakan logam. Secara definisi korosi merupakan serangkaian proses degradasi massa atau mutu suatu material (biasanya logam) akibat interaksi alamiah atau buatan terhadap lingkungan.

Korosi tidak dapat dihindarkan, sebab kecenderungan ini memaksa suatu logam menjadi mineralnya. Menurut penjelasan Jones (1997) dalam banyak korosi tidak dapat dihindari hampir semua material karena jika berinteraksi dengan lingkungannya dan secara perlahan namun pasti akan mengalami pengurangan mutu bahan dan kualitas bahan tersebut.

Korosi merupakan salah satu musuh besar dalam dunia industri-industri, beberapa contoh kerugian yang ditimbulkan akibat korosi adalah terjadinya penurunan kekuatan material dan biaya perbaikan akan naik jauh lebih besar dari yang telah di perkirakan. Sehingga diperlukan suatu usaha untuk melakukan pencegahan-pencegahan terhadap serangan korosi. (Marcus dan Oudar dalam Utomo, 2009).

Korosi kebanyakan menyerang bahan-bahan yang mengandung unsur Fe. Unsur yang memiliki nomer 26 ini menjadi logam yang paling banyak tersebar luas di berbagai wilayah dan menjadi logam yang paling ekonomis karena mineralnya tersebar dalam jumlah banyak dan memiliki sistem pengolahan yang mudah atau tidak rumit serta mudah dimodifikasi untuk pembentukannya. Namun besi merupakan logam yang paling mudah terkena korosi. Besi tidak seperti logam lainnya seperti Al (Aluminium) yang dapat membentuk lapisan pelindung di permukaannya dari serangan lingkungan yang korosif.

Penjelasan tentang korosi logam seperti yang dijelaskan oleh (Gogot Haryono, dkk), yaitu sel galvanik yang mempunyai “hubungan pendek” dimana beberapa permukaan logam bertindak sebagai katoda dan lainnya sebagai anoda dan “rangkain listrik” dilengkapi oleh rangkain elektron menuju besi itu sendiri.

Korosi adalah proses degradasi atau deteorisasi perusakan material yang disebabkan oleh pengaruh lingkungan dan sekitarnya. Adapun pengertiannya yaitu :

1. Korosi adalah kerusakan material tanpa perusakan material.
2. Korosi adalah kebalikan dari metalurgi ekstraktif.
3. Korosi adalah sistem termodinamika logam dengan lingkungan (udara, air, tanah) yang berusaha mencapai kesetimbangan.

Korosi juga dapat di ibaratkan dengan penurunan kualitas yang disebabkan oleh reaksi kimia bahan logam dengan unsur-unsur lain yang terdapat di alam. Korosi yang berdasarkan proses elektrokimia (*electrochemical proses*) terdiri dari 4 komponen utama yaitu:

a) *Anode* (Anoda)

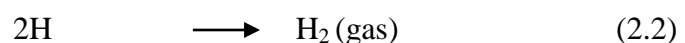
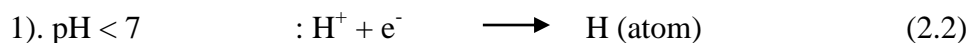
Anoda biasanya terkorosi dengan melepaskan electron-elektron dari atom-atom logam netral untuk membentuk ion-ion yang bersangkutan. Ion-ion ini mungkin tetap tinggal dalam larutan atau bereaksi membentuk hasil korosi yang tidak larut. Reaksi pada anoda dapat dituliskan dengan persamaan 2.1



Dengan z adalah valensi logam dan umumnya $z = 1, 2$ atau 3 .

b) *Catode* (Katoda)

Katoda biasanya tidak mengalami korosi, walaupun mungkin menderita kerusakan dalam kondisi-kondisi tertentu. Reaksi yang terjadi pada katoda berupa reaksi reduksi. Reaksi pada katoda tergantung pada pH larutan yang bersangkutan, seperti persamaan 2.2 dan 2.3



c) Elektrolit

Elektrolit adalah larutan yang mempunyai sifat menghantarkan listrik. Elektrolit bisa berupa larutan asam, basa dan larutan garam. Larutan elektrolit mempunyai peranan penting dalam korosi logam karena larutan ini dapat menjadikan kontak antara anoda dengan katoda.

d) Anoda dan Katoda harus terhubung secara elektris.

Antara anoda dan katoda harus ada hubungan listrik agar arus dalam sel korosi dapat mengalir. Hubungan secara fisik ini tidak diperlukan jika anoda dan katoda merupakan bagian dari logam yang sama.

1.4.1 Jenis-jenis Korosi

1. *Uniform Attack* (Korosi Seragam)

Korosi seragam adalah korosi yang terjadi pada permukaan logam akibat reaksi kimia karena pH air yang rendah dan udara yang lembab, sehingga semakin lama logam makin menipis. Biasanya ini terjadi pada plat baja atau profil logam homogen. Korosi jenis ini bisa dicegah dengan cara diberi lapis pelindung yang mengandung inhibitor seperti gemuk. Untuk lambung kapal diberi proteksi katodik.

- a) Pemeliharaan material yang tepat.
- b) Untuk jangka pemakaian yang lebih panjang diberi logam berpaduan tembaga 0,4 %.

➤ Gambar *Uniform Attack* dapat dilihat pada gambar 2.9



Gambar 2.9 Korosi Seragam

2. *Pitting Corrosion* (Korosi Sumur)

Korosi sumur adalah korosi yang disebabkan karena komposisi logam yang tidak homogen yang dimana pada daerah batas timbul korosi yang berbentuk sumur. Korosi jenis ini dapat dicegah dengan cara:

- a) Pilih bahan yang homogen.
- b) Diberikan inhibitor.
- c) Diberikan coating atau pelapisan dari zat agresif.

➤ Gambar *Pitting Corrosion* dapat dilihat pada gambar 2.10



Gambar 2.10 Korosi Sumuran

3. *Erosion Corrosion* (Korosi Erosi)

Korosi yang terjadi karena keausan dan menimbulkan bagian-bagian yang tajam dan kasar, bagian-bagian inilah yang mudah terjadinya korosi dan juga diakibatkan karena fluida yang sangat deras dan dapat mengikis film pelindung pada logam. Korosi jenis ini biasanya terjadi pada pipa dan propeller shaft.

Korosi jenis ini dapat dicegah dengan cara:

- a) Pilih bahan yang homogen.
- b) Diberi coating atau pelapisan dari zat yang agresif.
- c) Diberikan inhibitor.
- d) Hindari aliran fluida yang terlalu deras.

- Gambar *Errosion Corrosion* dapat dilihat pada gambar 2.11



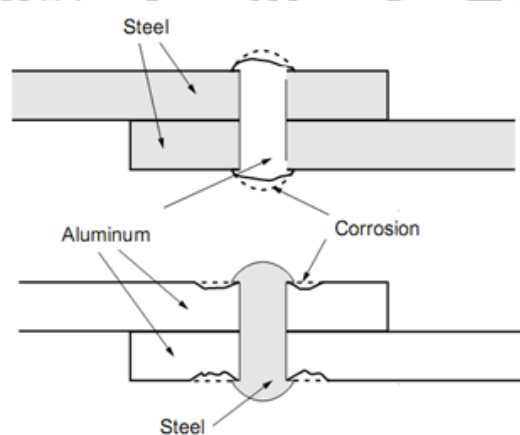
Gambar 2.11 Korosi Erosi

4. *Galvanis Corrosion* (Korosi Galvanis)

Korosi yang terjadi karena adanya 2 logam yang berbeda dalam satu elektrolit sehingga logam yang kelebihan anodic akan terkorosi. Korosi jenis ini dapat dicegah dengan cara:

- Beri isolator yang cukup tebal hingga tidak ada aliran elektrolit.
- Pasang proteksi katodik.
- Penambahan anti korosi inhibitor pada cairan.

- Gambar *Galvanis Corrosion* dapat dilihat pada gambar 2.12



Gambar 2.12 Korosi Galvanis

5. *Stress Corrosion* (Korosi Tegangan)

Korosi ini terjadi karena butiran logam yang berubah bentuk diakibatkan karena logam mengalami perlakuan khusus (seperti regangan, ditekuk, ditarik, dll.) sehingga butiran menjadi tegang dan butiran ini sangat mudah bereaksi dengan lingkungan. Korosi ini dapat dicegah dengan cara:

- a) Diberi inhibitor.
- b) Apabila ada logam yang mengalami stress maka logam harus direlaksasi.

➤ Gambar *Stress Corrosion* dapat dilihat pada gambar 2.13



Gambar 2.13 Korosi Tegangan

6. *Crevice Corrosion* (Korosi Celah)

Korosi ini terjadi karena adanya dua logam yang berdempetan dengan logam lain diantaranya ada celah yang dapat menahan kotoran dan air sehingga konsentrasi O_2 pada mulut kaya dibandingkan dengan bagian dalam, sehingga bagian dalam lebih anodik dan bagian mulut jadi katodik. Korosi ini dapat dicegah dengan cara:

- a) Deberi isolator.
- b) Dikeringkan bagian yang basah.
- c) Dibersihkan kotoran yang ada.

- Gambar *Crevice Corrosion* dapat dilihat pada gambar 2.14



Gambar 2.14 Korosi Celah

7. Korosi Mikrobiologi

Korosi yang terjadi akibat mikroba mikro organisme yang mempengaruhi korosi antara lain bakteri, jamur, alga dan *protozoa*. Korosi ini bertanggung jawab terhadap degradasi material di lingkungan. Pengaruh inisiasi atau laju korosi di suatu daerah, mikro organisme umumnya berhubungan dengan permukaan korosi kemudian menempel pada permukaan logam dalam bentuk lapisan tipis atau biodeposit. Lapisan film tipis biofilm, pembentukan lapisan tipis saat 2-4 jam pencelupan sehingga membentuk lapisan ini hanya terlihat seperti bintik-bintik dibandingkan menyeluruh permukaan. Korosi ini dapat dicegah dengan cara:

- a) Memilih logam dengan tepat untuk suatu lingkungan dengan kondisi-kondisinya.
- b) Memberi lapisan pelindung agar lapisan logam terlindung dari lingkungannya.
- c) Memperbaiki lingkungan agar tidak korosif.
- d) Perlindungan secara elektrokimia dengan anoda korban atau arus tandingan.
- e) Memperbaiki konstruksi agar tidak menyimpan air, lumpur dan zat korosif lainnya.

- Gambar Korosi Mikrobiologi dapat dilihat pada gambar 2.15



Gambar 2.15 Korosi Mikrobiologi

8. *Fatigue Corrosion* (Korosi Lelah)

Korosi ini terjadi karena logam mendapatkan beban siklus yang terus berulang sehingga semakin lama logam akan mengalami patah karena terjadi kelelahan logam. Korosi ini biasanya terjadi pada turbin uap, pengeboran minyak dan propeller kapal. Korosi jenis ini dapat dicegah dengan cara:

- a) Menggunakan inhibitor.
 - b) Memilih bahan yang tepat atau bahan yang kuat korosi.
- Gambar *Fatigue Corrosion* dapat dilihat pada gambar 2.16



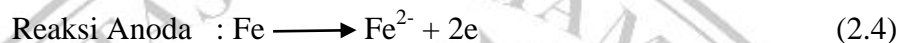
Gambar 2.16 Korosi Lelah

1.4.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi

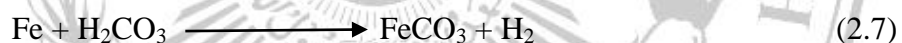
Umumnya masalah korosi disebabkan oleh air, tetapi ada beberapa faktor yang mempengaruhi selain air yang dapat berpengaruh terhadap laju korosi, yaitu:

1. Faktor Gas Terlarut.

a). Oksigen (O_2), adanya oksigen yang terlarut akan menyebabkan korosi pada metal seperti laju korosi pada baja karbon ringan (*mild steel alloy*) akan bertambah dengan meningkatnya kandungan oksigen. Reaksi korosi secara umum pada besi karena adanya kelarutan oksigen adalah sebagai persamaan 2.4 (Anoda) dan 2.5 (Katoda).



b). Karbondioksida (CO_2), jika karbondioksida dilarutkan dalam air maka akan terbentuk asam karbonat (H_2CO_3) yang dapat menurunkan pH air dan dapat meningkatkan korosifitas, biasanya bentuk korosinya berupa *pitting* yang secara umum reaksinya dapat dilihat pada persamaan 2.6 dan 2.7



2. Faktor Temperatur

a). Penambahan temperatur umumnya menambah laju korosi walaupun kenyataannya kelarutan oksigen akan berkurang dengan meningkatnya temperatur. Apabila metal pada temperature yang tidak *uniform*, maka akan besar kemungkinan terbentuknya korosi.

3. Faktor pH

a) Pada umumnya pH netral adalah 7, sedangkan $pH < 7$ bersifat asam dan korosif, sedangkan untuk $pH > 7$ bersifat basa juga korosif. Tetapi untuk besi, laju korosi rendah ada pada pH antara 7 sampai 13. Laju korosi akan meningkat pada $pH < 7$ dan pada $pH > 13$.

4. Faktor bakteri pereduksi atau *Sulfat Reducing Bacteria* (SRB) yaitu, adanya bakteri pereduksi sulfat akan mereduksi ion sulfat menjadi gas H_2S , yang mana jika gas tersebut kontak dengan besi akan menyebabkan terjadinya korosi.

5. Faktor Padatan Terlarut

- a) Klorida (Cl), klorida menyerang lapisan karbon rendah (*mild steel*) dan lapisan *stainless steel*. Padatan ini menyebabkan terjadinya *pitting*, *crevice corrosion*, dan juga menyebabkan pecahnya *alloys*.
- b) Karbonat (CO_3), kalsium karbonat sering digunakan sebagai pengontrol korosi dimana film karbonat diendapkan sebagai lapisan pelindung permukaan metal, tetapi dalam produksi minyak hal ini cenderung menimbulkan masalah *scale* (berskala).
- c) Sulfat (SO_4), ion sulfat ini biasanya terdapat dalam minyak. Dalam air ion sulfat juga ditemukan dalam konsentrasi yang cukup tinggi dan bersifat kontaminan, dan oleh bakteri SRB sulfat dirubah menjadi sulfide yang korosif.

1.4.3 Dampak Korosi

Korosi yang terjadi pada logam tidak dapat dihindarkan, tetapi dapat dicegah dan dikendalikan sehingga struktur atau komponen mempunyai massa pakai yang related lebih lama. Kerugian yang akan di alami adanya korosi adalah:

- a) Penurunan kekuatan material.
- b) Penipisan material.
- c) Downtime dari equipment.
- d) Retak dan *Pitting*.
- e) Kebocoran fluida.
- f) *Embrittlement*.
- g) Penurunan sifat dari material.
- h) Penurunan nilai dan hasil produksi.
- i) *Modification*.

1.4.4 Metode Pencegahan Korosi

Beberapa korosi dapat dicegah dan dikendalikan karena terdapatnya beberapa cara agar korosi tersebut tidak dapat berkembang, yaitu:

1. Pengubahan Media

Korosi merupakan interaksi antara logam dengan lingkungan sekitarnya, maka pengubahan media disekitarnya akan dapat mengubah laju korosi. Ada 3 situasi yang dapat terjadi, yaitu:

- a) Media sekitar atau lingkungan berupa gas.
- b) Media sekitar berupa larutan atau ion-ion tertentu.
- c) Logam terbenam dalam tanah.

2. Seleksi material

Metode umum yang sering digunakan dalam pencegahan korosi yaitu pemilihan loga atau paduan dalam suatu lingkungan korosif tertentu untuk mengurangi resiko terjadinya korosi.

3. Proteksi Katodik (*Cathodic Protection*)

Proteksi katodik adalah perlindungan dengan cara menghubungkan logam yang mempunyai potensial lebih tinggi ke struktur logam sehingga tercipta suatu sel elektrokimia dengan logam berpotensi rendah bersifat katodik dan terproteksi.

4. Proteksi Anodik (*Anodic Protection*)

Dengan adanya arus anodik maka akan meningkatkan laju ketidaklarutan logam dan akan menurunkan laju pembentukan hydrogen. Hal ini bisa terjadi untuk logam-logam Ni, Fe, Cr, Ti dan paduannya. Jika arus yang lewat dapat dikontrol seksama dengan (*potentiostat*) maka logam akan bersifat pasif dan pembentukan logam-logam tak larut akan berkurang.

5. Inhibitor Korosi

Adapun cara lain agar dapat menghambat laju korosi dengan cara penambahan inhibitor korosi. Secara umum inhibitor adalah suatu zat kimia yang dapat memperlambat laju reaksi kimia, dengan ditamhakkannya ke dalam suatu lingkungan, dapat menurunkan laju penyerangan korosi lingkungan itu terhadap suatu logam.

Sejumlah inhibitor menghambat korosi melalui cara *absorbs* atau penyerapan untuk membentuk suatu lapisan tipis yang tidak nampak dengan ketebalan beberapa molekul saja, ada pula yang karena pengaruh lingkungan membentuk endapan yang nampak dan melindungi logam dari serangan yang mengkorosi logamnya dan menghasilkan produk yang membentuk lapisan pasif, dan ada pula yang menghilangkan konstituen yang agresif.

6. Pengubahan Media atau Lingkungan Kerja (*Environment Change*)

Korosi merupakan interaksi logam dengan lingkungan sekitarnya, maka pengubah media sekitarnya dapat berpengaruh dengan laju korosi. Adapun situasi yang dapat terjadi, yaitu:

- a) Media sekitar atau lingkungan yang berupa gas.
- b) Media sekitar berupa larutan dengan ion-ion tertentu.
- c) Logam terbenam didalam tanah.

7. Pelapisan (*Coatings*)

Prinsip umum tentang pelapisan yaitu melapisi logam induk dengan suatu bahan atau material pelindung. Beberapa jenis-jenis pelapisan, yaitu:

- a) Metallic Coating.
- b) Paint atau Organic Coating.
- c) Chemical Conversion Coating.
- d) Miscellaneous Coating (Enamel, Thermoplastics).

1.5 Laju Korosi

2.5.1 Uji Laju Korosi

Pengujian laju korosi bertujuan untuk mengetahui nilai laju ketahanan atau perkembangan karat atau korosi pada material baja. Adapun langkah-langkah yang dapat dilakukan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut :

- a) Membersihkan permukaan masing-masing spesimen atau sample yang akan di uji sampai bersih.

- b) Menimbang spesimen sebelum melakukan pengujian korosi untuk mengukur berat awal spesimen.
- c) Memasang benda uji pada masing-masing bejana yang telah berisi larutan NaCl.
- d) Menutup bejana dan membiarkan selama waktu yang telah ditentukan dalam menentukan waktu pengorosan.
- e) Melakukan pemeriksaan pada spesimen.
- f) Setelah itu membersihkan spesimen dengan air yang mengalir untuk menghilangkan produk korosi, lalu keringkan di udara.
- g) Menimbang berat spesimen setelah pengujian korosi untuk menghitung *weight loss* atau berat yang hilang akibat korosi.
- h) Menentukan angka laju korosi yang hilang dari spesimen dengan menggunakan rumus perhitungan.

Dilakukan pemotretan pada spesimen yang telah di uji. Pemeriksaan ini bertujuan untuk melihat perubahan-perubahan yang terjadi saat pertumbuhan korosi. Langkah-langkah yang dapat dilakukan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut :

1. Meniriskan sejenak spesimen yang melalui proses celup pada cairan NaCl agar tidak ada yang menyangkut pada spesimen uji.
2. Permukaan tersebut difoto untuk didokumentasikan.

2.5.2 Perhitungan Laju Korosi

Perhitungan laju korosi adalah kecepatan rambatan atau kecepatan penurunan kualitas bahan terhadap waktu. Dalam perhitungan laju korosi, satuan yang biasanya digunakan mm/th atau (*standart internasional*) mils/year (mpy, standart, British). Tingkat ketahanan material terhadap korosi umumnya memiliki nilai laju korosi antara 1 – 100 mpy. (Fontana dan Mars Guy dalam Afandi, Arief, Amiadji, 2015).

Laju korosi diekspresikan sebagai massa yang hilang persatuan luas, dimana dianggap merata dalam satuan luas tersebut. Laju korosi juga diekspresikan sebagai kedalaman penetrasi korosi ke dalam bentuk logam induk.

Metode perhitungan laju korosi dapat menggunakan metode kehilangan berat adalah perhitungan laju korosi dengan mengukur kekurangan berat akibat korosi. Metode ini menggunakan jangka waktu penelitian hingga mendapatkan jumlah kehilangan berat korosi yang terjadi.

Laju korosi dihitung menggunakan percobaan korosi dalam kurun waktu tertentu dimana diketahui perubahan berat suatu material akibat korosi, kemudian dihitung dengan persamaan berikut: (Fontana dalam Ojahan, Winata, 2013).

Untuk menghitung laju korosi dengan metode kehilangan berat maka digunakan rumus persamaan 2.8

$$\text{Corrosion Rate (CR)} = \frac{K \times W}{D \times A_s \times T} \text{ (millimeters per year)} \quad (2.8)$$

Keterangan : CR = Laju Korosi (mmpy)

K = Konstanta ($8,76 \times 10^4$)

W = Kehilangan berat (g)

D = Densitas (g/cm^3)

A_s = Luas permukaan benda uji yang direndam (cm^2)

T = Waktu (jam)

Nilai konstanta yang digunakan pada persamaan laju korosi dapat menggunakan nilai konstanta pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Konstanta Perhitungan Laju Reaksi Korosi Berdasarkan Satuannya.

Satuan Laju Korosi	Konstanta (K)
Mils per year (mpy)	$3,45 \times 10^6$
Inchies per year (ipy)	$3,45 \times 10^3$
Inchies per month (ipm)	$2,87 \times 10^2$
Milimeters per year (mm/y)	$8,76 \times 10^4$
Micrometers per year ($\mu\text{m}/\text{y}$)	$8,76 \times 10^7$
Picometers per second (pm/s)	$2,87 \times 10^6$
Grams per square meter per hour ($\text{g}/\text{m}^2 \text{ h}$)	$1,00 \times 10^4 D^A$
Miligrams per square decimeter per day (mdd)	$2,40 \times 10^6 D^A$
Micrograms per square meter per second ($\mu\text{g}/\text{m}^2 \text{ s}$)	$2,78 \times 10^6 D^A$

Laju korosi pada umumnya dapat diukur dengan menggunakan dua metode yaitu: metode kehilangan berat dan metode elektrokimia. Metode kehilangan berat adalah menghitung kehilangan berat yang terjadi setelah beberapa waktu pencelupan. Penelitian ini menggunakan metode kehilangan berat dimana dilakukan perhitungan selisih antara berat awal dan berat akhir.

Satuan laju korosi :

1. Pengurangan berat = g atau mg
2. Berat atau satuan luas permukaan logam = mg/mm^2
3. Berat perluas perwaktu = $\text{mg}/\text{dm}^2 \text{ day}$ (mdd), $\text{g}/\text{dm}^2 \cdot \text{day}$, $\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{hour}$, $\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$, $\text{moles}/\text{cm}^2 \cdot \text{h}$
4. Dalam penetrasi per waktu : inchi/year (mpy), 1milli = 0,001 inch.

(Pattireuw, Rauf dan Lumintang, 2013).

2.6 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian yang telah dilaksanakan oleh Hidayat, dkk, 2013, tentang “Studi Eksperimen Perbandingan Laju Korosi pada Plat ASTM (*American Society For Testing and Material*) A36 dengan Menggunakan Variasi Sudut *Bending*” mendapatkan hasil kesimpulan bahwa nilai laju korosi yang dihasilkan pada

metode *Cold Bending* pada sudut 90° adalah 0,54 mm/year, sedangkan untuk sudut 145° adalah 0,32 mm/year. Dan nilai laju korosi pada metode *Hot Bending* pada sudut 90° adalah 0,53 mm/year, sedangkan pada sudut 145° adalah 0,24 mm/year. Penggunaan metode *bending* dengan menggunakan *hot bending* memiliki laju korosi yang lebih kecil dibandingkan dengan nilai laju korosi pada metode *cold bending*, walaupun penggunaan metodenya lebih mudah *cold bending*. (Hidayat, Rochani dan Supomo, 2013).

Penelitian yang telah dilakukan oleh Sabyantoro, dkk, 2019, tentang “Analisis Laju Korosi dengan Aliran Media Korosi HCL 10% pada Material Baja ASTM dengan Sudut *Bending*” dengan menggunakan variasi sudut *bending* yaitu 60° , 90° , 120° , 180° mendapatkan hasil pengaruh media pengkorosi HCL terhadap laju korosi pada *mild steel* A36 yang telah diberikan perlakuan *bending* yaitu sudut *bending* sangat berpengaruh terhadap laju korosi sebuah spesimen, semakin kecil sudut *bending* maka laju korosinya akan semakin besar. Nilai laju korosi terbesar terjadi pada spesimen yang diberi perlakuan *bending* pada sudut 60° dengan menggunakan metode putar pada perendaman selama 30 menit dengan nilai laju korosi sebesar $1,8762 \cdot 10^{-05}$ mm/tahun. (Sabyantoro, Purwanto dan Dzulfikar, 2019).

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Taufik, dkk, 2016, tentang “Pengaruh Radius *Bending* Terhadap Perubahan Struktur Mikro” dengan variasi Radius *bending* yaitu $R1=50$, $R2=55$, $R3=60$, $R4=65$, $R5=70$ (mm), rekayasa ini dilakukan untuk mendapatkan rasio R/t yang optimal agar cacat proses manufaktur (*bending*) sekecil mungkin dapat dihindari. Dari hasil penelitian tersebut didapatkan hasil pengujian *bending* dan perlakuan quench 900°C pendingin air dengan temperature 150°C *holding time* selama 45 menit, pada Radius 70 menunjukkan adanya kekerasan material. Pengamatan struktur mikro tingkat kepadatan butir homogen dan tidak ditemukan adanya retak. (Taufik, Pratiko, Suprpto dan Sonief, 2016).

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Permadi dan Palupi, 2014, tentang “Analisa Laju Korosi Pada Baja Karbon Ringan (*Mild Steel*) Dengan Perlakuan *Bending* Pada Media Pengkorosi Larutan Asam” dengan variasi sudut

bending yaitu 60° , 90° dan 120° dengan menggunakan larutan HCL dengan konsentrasi 16% dan 32% dengan variasi waktu 10 menit, 20 menit dan 30 menit, didapatkan hasil bahwa korosi terbesar terjadi pada perendaman dengan variasi waktu yang pertama yaitu 10 menit dan pada sudut *bending* terkecil yaitu 60° . Untuk larutan HCL dengan konsentrasi 16% dan 32%, dalam waktu perendaman 10 menit untuk larutan HCL konsentrasi 16% laju korosi terbesarnya adalah 22802,38 mpy terjadi pada spesimen dengan sudut *bending* 60° dalam waktu perendaman 10 menit. Sedangkan untuk larutan HCL konsentrasi 32% laju korosi terbesarnya adalah 73595,09 mpy juga terjadi pada spesimen dengan sudut *bending* 60° dan waktu perendaman selama 10 menit. Semakin lama perendaman maka laju korosi akan semakin menurun. (Permadi dan Palupi, 2014).

Penelitian yang telah dilakukan oleh Putri, dkk, 2012, tentang “Studi Laju Korosi dan *Surface* Morfologi Pipa Bawah Laut API 5L Grade X65 Dengan Variasi Sudut *Bending*” dengan menggunakan variasi sudut yaitu 60° , 90° dan 135° didapatkan hasil nilai laju korosi terbesar yaitu pada ekstrados pipa adalah sudut 60° yaitu 0,59 mm/year merupakan korosi yang cukup baik, dan untuk sudut 90° nilai laju korosinya 0,49 mm/year termasuk korosi baik, laju korosi paling kecil terjadi pada sudut 135° sebesar 0,45 mm/year. Semakin kecil sudut *bending* maka nilai laju korosinya akan semakin tinggi, pada pipa dengan sudut *bending* (*elbow*) dipengaruhi oleh *tensile* (tarik) dan *compress* (tekan) yang terjadi akibat proses penekukan. (Putri, Rochani dan Supomo, 2012).